

ANALISA GELOMBANG KEJUT PADA PERSIMPANGAN BERSINYAL (STUDI KASUS: JL. 17 AGUSTUS – JL. BABE PALAR)

Marlien Helti Lidya Astri Bella

James A Timboeleng, Samuel Y. R. Rompis

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

email : alin.bella08@gmail.com

ABSTRAK

Sebagai persimpangan empat lengan dan merupakan salah satu jalur menuju ke perkantoran di sepanjang Jl. 17 Agustus kota Manado dan ke arah Teling yang terdapat rumah sakit di sekitarnya, persimpangan jalan 17 Agustus - jalan Babe Palar ini sangat sering terjadi kemacetan dan antrian dari kendaraan yang melewati persimpangan ini sehingga dipasang lampu lalu lintas dan pada persimpangan ini memiliki durasi lampu merah yang besar dan durasi lampu hijau yang kecil. Pemakaian lampu lalu lintas menimbulkan fenomena gelombang kejut pada lalu lintas di sekitar persimpangan tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk mencari hubungan matematis volume, kecepatan, kepadatan dan panjang antrian yang terjadi akibat lampu merah pada salah satu lengan dari persimpangan yang diteliti yaitu pada lengan jl Babe Palar menuju ke arah timur atau ke arah persimpangan. Pengumpulan data dilakukan pada hari Senin sampai hari Sabtu mulai tanggal 25 sampai dengan tanggal 30 pada bulan April 2016. Hasil perhitungan didapat model Greenberg pada hari Rabu 27 April 2016 merupakan model terbaik untuk hubungan matematis antara volume, kecepatan dan kepadatan dengan $R^2 = 89,897\%$. Dari hasil hubungan matematis tersebut dapat dihitung nilai gelombang kejut dengan persamaan garis kurva hubungan volume - kepadatan $V = 68.82475 D - 14.66326$ $D \ln D$ dengan volume maksimum (V_M) 620.2996 smp/jam, kepadatan maksimum (D_M) 25.882 smp/km. karakteristik gelombang kejut yang terjadi untuk kondisi A (V_A) 460 smp/jam, $\omega_{DA} = 28.724$ km/jam merupakan gelombang kejut maju bentukan, $\omega_{DB} = 0$ km/jam merupakan gelombang kejut diam depan, $\omega_{AB} = -4.5958$ km/jam merupakan gelombang kejut mundur bentukan, $\omega_{DC} = 14.4633$ km/jam merupakan gelombang kejut maju pemulihan, $\omega_{CB} = -8.4842$ km/jam merupakan gelombang kejut mundur pemulihan. Panjang antrian maksimum yang terjadi (Q_M) = 289.695 meter dengan waktu penormalan (T) = 12.13101 detik. Dari hasil yang telah diteliti dapat dipastikan bahwa semua kendaraan yang mengantri pada saat lampu merah menyala dapat melewati garis henti sehingga tidak terjadi antrian.

Kata Kunci : gelombang kejut, persimpangan, panjang antrian, waktu penormalan

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pada persimpangan berlampu lalu lintas di jalan 17 Agustus dan jalan Babe Palar yang merupakan persimpangan empat lengan. Pada persimpangan tersebut terjadi arus lalu lintas yang datang dari jalan-jalan utama bergerak saling berpotongan dan pejalan kaki yang akan menyeberang sehingga dapat terjadi antrian yang panjang. Dalam penelitian ini kinerja simpang bersinyal dievaluasi dengan metode gelombang kejut sehingga didapat panjang antrian dengan lebih akurat.

Pembatasan Masalah

Ruang lingkup permasalahan pada penelitian ini dibatasi oleh :

1. Lokasi studi untuk perencanaan simpang bersinyal 17 Agustus - Babe Palar ini adalah pada lengan ruas jalan Babe Palar
2. Parameter yang diukur dalam penelitian ini adalah arus (*volume*), kecepatan (*speed*) dan durasi lampu lalu lintas. Model arus lalu lintas yang dipakai untuk menunjukkan hubungan matematis antara parameter-parameter di atas adalah model Greenshield, Greenberg, dan Underwood

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

- a. Mengetahui hubungan antara arus, kepadatan dan kecepatan

- b. Mengetahui nilai panjang antrian berdasarkan nilai gelombang kejut yang terjadi pada arus lalu lintas di persimpangan jalan 17 Agustus dan jalan Babe Palar

Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penulisan ini adalah :

1. Manfaat dari penelitian ini adalah untuk membantu pengguna lalu lintas agar terhindar dari kemacetan akibat antrian yang panjang pada persimpangan dan dapat dicegah.
2. Memberi solusi terhadap masalah-masalah yang terjadi pada persimpangan pada saat sekarang dan menjadi referensi untuk mengoptimalkan lampu lalu lintas khususnya di lokasi studi.

LANDASAN TEORI

Teori Persimpangan

Persimpangan jalan adalah simpul pada jaringan jalan dimana ruas jalan bertemu dan lintasan arus kendaraan berpotongan.

Tipe Persimpangan

1. Persimpangan sebidang
Yang dimaksud persimpangan sebidang adalah persimpangan dimana ruas jalan ketemu atau bersilang dalam satu bidang.
2. Persimpangan tidak sebidang
Persimpangan tidak sebidang adalah persimpangan dimana ruas jalan bersilang pada bidang yang berbeda

Hubungan Volume, Kecepatan Dan Kepadatan Lalu Lintas

Hubungan matematis antara kecepatan, volume, dan kepadatan dapat dinyatakan dengan persamaan berikut ini.

$$V = D \cdot S \quad (1)$$

Memperlihatkan bentuk umum hubungan matematis antara Kecepatan-Kepadatan (S-D), Volume-Kepadatan (V-D), dan Arus-Kecepatan (V-S)

Model Greenberg

Persamaan dasar model Greenberg dapat dinyatakan melalui persamaan

$$D = C \cdot e^{bs} \quad (2)$$

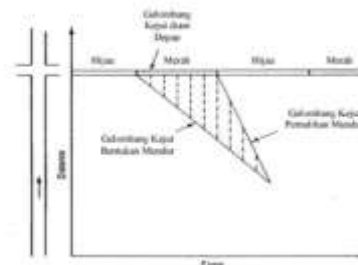
Dimana : C dan b merupakan konstanta.

Analisis Gelombang Kejut

Gelombang kejut (*shock wave*) didefinisikan sebagai arus pergerakan yang timbul disebabkan karena adanya perbedaan kepadatan dan kecepatan lalu lintas pada suatu ruas jalan. Secara umum kondisi gelombang kejut dapat diasumsikan terjadi pada dua kondisi, yaitu gelombang kejut gerak maju (*forward moving shock wave*) dan gelombang kejut mundur (*backward moving shock wave*). (Tamin, 2003)

Gelombang Kejut Pada Persimpangan Berlampu Lalu Lintas

Pada jarak tertentu sebelum lampu lalu lintas dan setelahnya terdapat kondisi arus bebas (*free-flow*), tapi pada jarak tertentu juga sebelum lampu lalu lintas saat lampu merah menyala, kendaraan berhenti dan kepadatan meningkat.

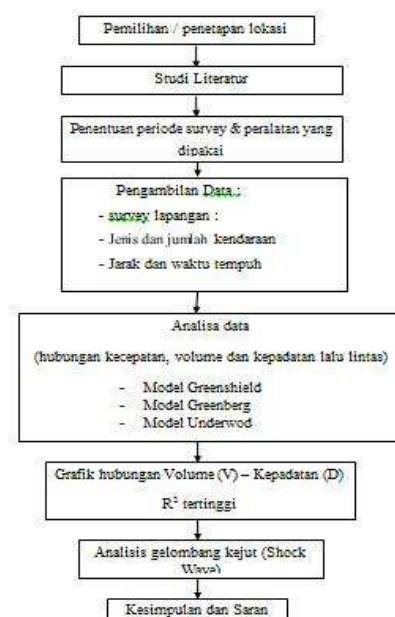


Gambar 1. Perwujudan Gelombang kejut pada persimpangan berlampu lalu lintas

Sumber : Tamin, 2003

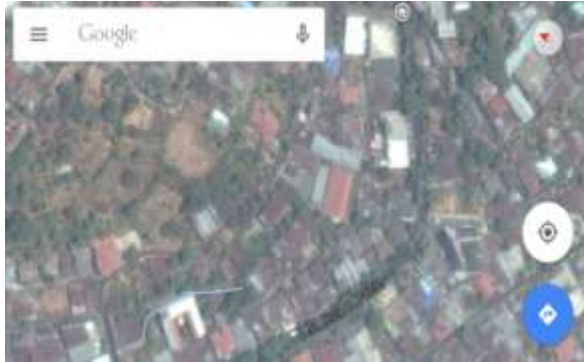
METODOLOGI PENELITIAN

Bagan Alir Penelitian

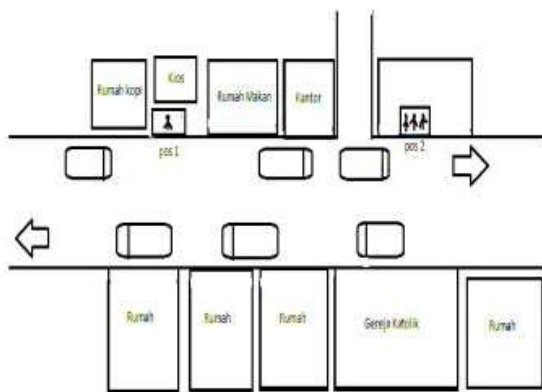


Pengambilan Data

Survey ini dilakukan pada persimpangan yang akan diteliti tetapi hanya satu ruas lengan yaitu dari arah jalan Babe Palar ke arah timur atau ke arah lampu lalu lintas.



Gambar 2. lokasi penelitian
Sumber :google maps



Gambar 3. Ilustrasi Pengambilan Data

Metode Analisa

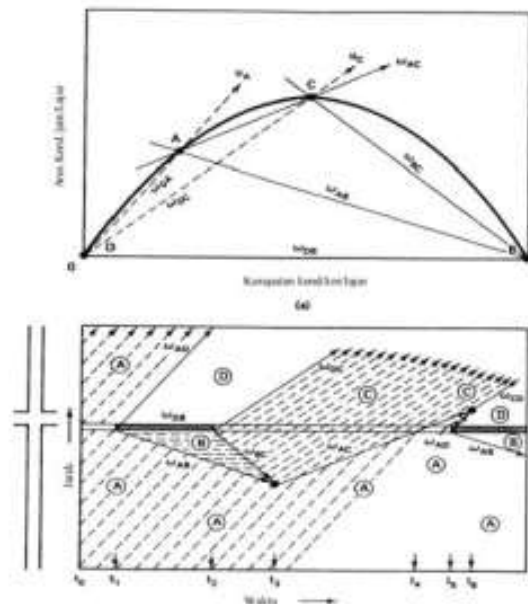
Nilai Gelombang Kejut Pada Persimpangan Berlampu Lalu Lintas.

Selama waktu t_0 sampai dengan t_1 , lampu hijau menyala sehingga arus lalu lintas pada lengan persimpangan bergerak melewati persimpangan ke arah hilir dengan arus kondisi A (V_A , D_A , dan S_A). Pada waktu t_1 lampu lalu lintas berubah menjadi merah dan kondisi arus lalu lintas pada garis henti (*stop line*) berubah menjadi kondisi B, sedangkan kondisi arus lalu lintas setelah persimpangan ke arah hilir pada kondisi D. Tiga gelombang kejut yang terbentuk mulai t_1 pada garis henti adalah sebagai berikut :

$$\omega_{DA} = \frac{V_A - V_D}{D_A - D_D} = S_A \quad (3)$$

$$\omega_{DB} = \frac{V_B - V_D}{D_B - D_D} = 0 \quad (4)$$

$$\omega_{AB} = \frac{V_B - V_A}{D_B - D_A} = -\frac{V_A}{D_B - D_A} \quad (5)$$



Gambar 4. Gelombang kejut pada persimpangan berlampu lalu lintas
Sumber : Tamin, 2003

Kecepatan gelombang kejut baru dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\omega_{DC} = \frac{V_C - V_D}{D_C - D_D} = S_C \quad (6)$$

$$\omega_{CB} = \frac{V_B - V_C}{D_B - D_C} = -\frac{V_C}{D_B - D_C} \quad (7)$$

Arus lalu lintas dengan kondisi D, C, B, dan A terus terjadi sampai dengan ω_{AB} dan ω_{CB} mencapai t_3 dengan selang waktu antara t_2 sampai dengan t_3 dan dapat dihitung dengan persamaan :

$$t_3 - t_2 = r \cdot \left[\frac{\omega_{AB}}{\omega_{CB} - \omega_{AB}} \right] \quad (8)$$

Panjang antrian maksimum akan terjadi pada waktu t_3 dan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$Q_M = \frac{r}{3600} \cdot \left[\frac{\omega_{AB} \cdot \omega_{AB}}{\omega_{CB} - \omega_{AB}} \right] \quad (9)$$

ketika waktu t_3 , terbentuk 1 gelombang kejut baru yaitu : gelombang kejut gerak maju (ω_{AC}), sedangkan 2 gelombang kejut gerak mundur ω_{AB} dan ω_{CB} berakhir. Gelombang kejut ω_{AC} dapat dihitung dengan persamaan :

$$\omega_{AC} = \frac{V_C - V_A}{D_C - D_A} \quad (10)$$

Arus lalu lintas pada kondisi D, C, dan A terus terjadi sampai dengan t_5 , yaitu pada saat lampu merah menyala. Di waktu t_4 , gelombang kejutan bergerak maju (ω_{AC}) memotong garis henti dan arus lalu lintas pada garis henti berubah dari arus lalu lintas maksimum V_C menjadi V_A . Waktu antara mulainya lampu hijau (t_2) sampai (t_4) dapat dihitung dengan persamaan :

$$t_4 - t_2 = \frac{r \cdot \omega_{AB}}{(\omega_{CB} - \omega_{AB})} \cdot \left| \frac{\omega_{CB}}{\omega_{AC}} + 1 \right| \quad (11)$$

$t_4 - t_2 = T$ yaitu waktu penormalan, adalah total waktu antara sejak diberlakukan penormalan lajur hingga antrian berakhir.

Analisa Persamaan Regresi Linier

Bila variabel tidak bebas y dan variabel bebas mempunyai hubungan linier, maka fungsi regresinya adalah :

$$Y = A + BX \quad (12)$$

Dimana : Y = peubah tidak bebas
 X = peubah bebas
 A = konstanta regresi
 B = koefisien regresi

Dimana konstanta A dan B dapat dicari dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$B = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (13)$$

$$A = \frac{\sum y - B \sum x}{n} \quad (14)$$

Koefisien Determinasi

Koefisien Determinasi (R^2) dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$R^2 = \frac{(n\sum xy - (\sum x)(\sum y))^2}{(n\sum x^2 - (\sum x)^2)(n\sum y^2 - (\sum y)^2)} \quad (15)$$

Persamaan diatas digunakan untuk menentukan model terbaik yang dapat mewakili setiap hubungan matematis antar parameter.

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Volume, Kecepatan dan Kepadatan

Perhitungan Volume Lalu lintas

Ekivalensi mobil penumpang (emp) masing-masing kendaraan menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 adalah sebagai berikut :

1. Kendaraan Berat (HV) = 1.2
2. Kendaraan Ringan (LH) = 1.0
3. Sepeda Motor (MC) = 0.25

Lamanya Siklus Lampu Lalu Lintas

Lamanya siklus lalu lintas diambil secara langsung di lapangan. Pada hasil survey didapat lamanya lampu merah menyala yaitu 104 detik, sedangkan lampu hijau menyala selama 23 detik, lampu kuning menyala hanya selama 3 detik dan all red selama 2 detik maka waktu siklus lampu lalu lintas pada persimpangan yang di survey selama 130 detik.



Gambar 5. Grafik volume kendaraan

Dari hasil survey dapat dilihat bahwa volume maksimum pada hari senin terjadi pada waktu pengamatan dari pukul 11.30 sampai pada 11.45.

Perhitungan Kecepatan Kendaraan (S)

Variabel kecepatan yang digunakan untuk menganalisa hubungan antara kecepatan, volume, dan kepadatan adalah kecepatan rata-rata. Kecepatan rata-rata dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan :

$$S_s = \frac{dn}{\sum ti} \quad (16)$$

Dimana :

S_s = kecepatan rata-rata (Km/jam)

D = jarak tempuh (m)

N = jumlah kendaraan

ti = waktu tempuh kendaraan ke-i (m/det)



Gambar 6. Grafik kecepatan kendaraan hari Senin 25 April 2016

Tabel 1. Resume hubungan karakteristik antara Kepadatan-Kecepatan, Kepadatan Volume, dan Kecepatan – Volume hari senin menggunakan model Greenshield, Greenberg dan Underwood

jenis model	hubungan karakteristik	model hubungan matematis
Greendshield	kepadatan dan kecepatan	$S = 24.5993 - 0.229956 D$
	kepadatan dan volume	$V = 24.5993 D - 0.229956 D^2$
	kecepatan dan volume	$V = 106.974 S - 4.348658 S^2$
Greenberg	kepadatan dan kecepatan	$S = 69.298382 - 14.601731 \ln D$
	kepadatan dan volume	$V = 69.298382 D - 14.601731 D \ln D$
	kecepatan dan volume	$V = 115.111566 S \cdot e^{-0.068485031 \cdot S}$
Underwood	kepadatan dan kecepatan	$S = 52.72053 \cdot e^{-0.03753 D}$
	kepadatan dan volume	$V = .52.72053 \cdot D \cdot e^{-0.03753 \cdot D}$
	kecepatan dan volume	$V = 105.6357 \cdot S - 26.642 S \cdot \ln S$

Sumber: Hasil Penelitian

Tabel 2. Resume Hubungan kapasitas Volume, Kecepatan dan Kepadatan lalu lintas dengan menggunakan model Greenshield, Greenberg dan Underwood untuk hari senin

Model	V_M	S_M	D_M
Greenshield	657.8711	12.29965	53.48698
Greenberg	618.3421	14.601731	42.34717891
Underwood	26.38772	51.720526	26.642

Sumber: Hasil Penelitian

Dari grafik 6. bisa dilihat bahwa kecepatan maksimum terjadi pada pagi hari yaitu pukul 06.00 sampai 06.15.

Perhitungan Kepadatan (D)

Kepadatan dapat dihitung dengan membagi volume lalu lintas dengan variabel kecepatan rata-rata.

$$D = \frac{V}{S} \quad (17)$$

Dimana :

D = kepadatan lalu lintas (kend/km)

V = volume lalu lintas (kend/jam)

S = kecepatan lalu lintas (km/jam)

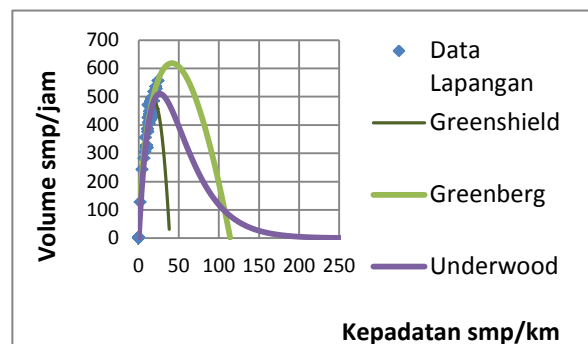
Hubungan Matematis Volume, Kecepatan, dan Kepadatan Lalu lintas.

Dari Tabel 1. Dapat dilihat hubungan karakteristik antara Kepadatan-Kecepatan, Kepadatan Volume, dan Kecepatan – Volume hari senin menggunakan model Greenshield, Greenberg dan Underwood.

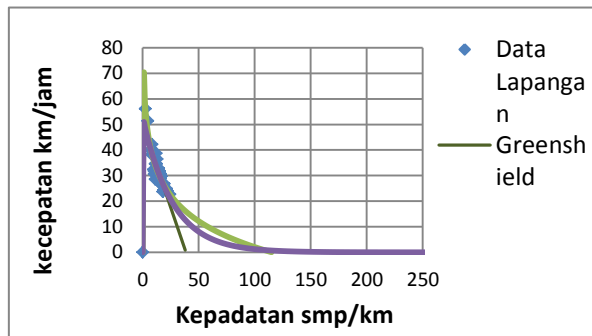
Sedang Tabel 2. Memperlihatkan hubungan kapasitas Volume, Kecepatan dan Kepadatan lalu lintas dengan menggunakan model Greenshield, Greenberg dan Underwood untuk hari senin

Tabel 3. Hasil nilai resume R^2 untuk model Greenshield, Greenberg dan Underwood

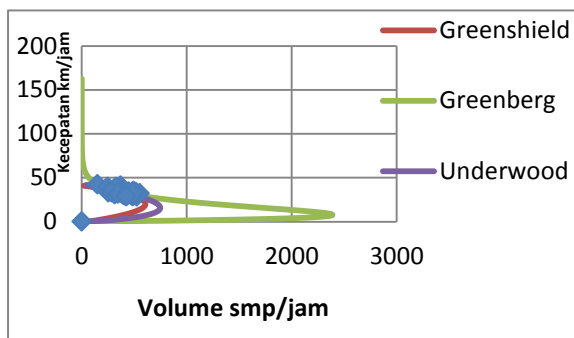
Hari	model	R^2
senin	Greenshield	0.759032
	Greenberg	0.861307
	Underwood	0.807977



Gambar 7. Kurva Hubungan Matematis antara Volume-kepadatan model Greenshield, Greenberg dan Underwood untuk hari senin



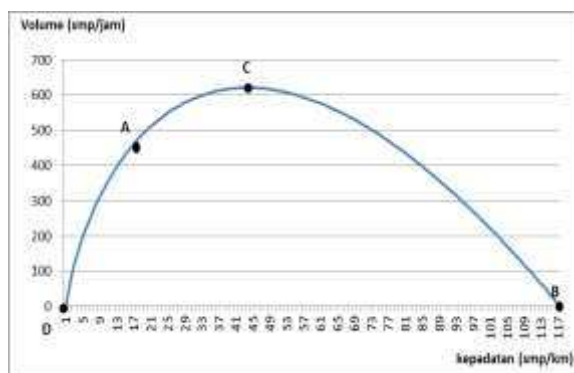
Gambar 8. Kurva Hubungan Matematis antara Kecepatan-kepadatan model Greenshield, Greenberg dan Underwood untuk hari senin



Gambar 9. Kurva Hubungan Matematis antara Volume-kepadatan model Greenshield, Greenberg dan Underwood untuk hari senin

Karakteristik Gelombang Kejut Pada Persimpangan Berlampu Lalu Lintas

Gelombang kejut pada persimpangan berlampu lalu lintas dapat dianalisis apabila hubungan matematis antara arus – kepadatan untuk lengan persimpangan telah diketahui dan kondisi arus lalu lintas telah ditentukan.



Gambar 10. Kurva Volume – Kepadatan
Sumber : Hasil analisis

Untuk perhitungan gelombang kejut, digunakan hubungan matematis antara volume – kepadatan yang memiliki angka koefisien determinasi (R^2)

tertinggi dari keenam hari survey. Diperoleh angka Koefisien determinasi (R^2) tertinggi pada hari Rabu Dengan nilai 0.899 Model Greenberg

Garis kurva Greenberg $V = 68.82475 D - 14.66326 D \ln D$

Pada saat kondisi arus/volume D, $V_D = 0$ smp/jam maka $D_D = 0$ smp/km

Kondisi saat arus/volume maksimum (V_C) didapat dengan menggunakan persamaan
 $(V_C) = 116.5815 \cdot 14.66326 \cdot e^{-0.069140695 \times 14.66326}$
 $= 620.2996$ smp/jam

Kondisi kepadatan maksimum (D_C) didapat dengan menggunakan persamaan

$$(D_C) = e^{\ln 116.5815315 - 1} = 42.88795$$

Pada saat kondisi arus/volume B, $V_B = 0$ smp/jam maka $D_B = 116$

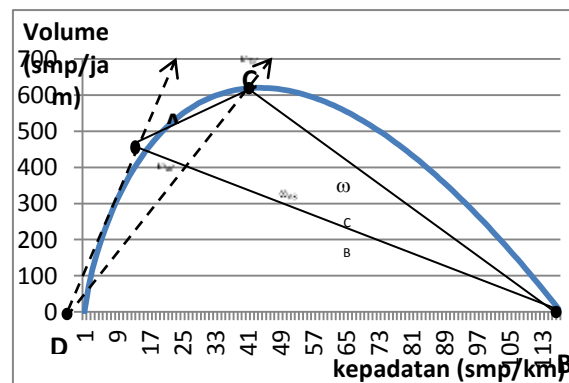
Untuk kondisi V_A Diasumsi dari nilai 0 (nol) sampai volume maksimum terbesar
 $V_A = 460$ smp/jam, $D_A = 16$

$$V_C = 620.2996 \text{ smp/jam}, D_C = 42.88795$$

$$V_B = 0 \text{ smp/jam}, D_B = 116$$

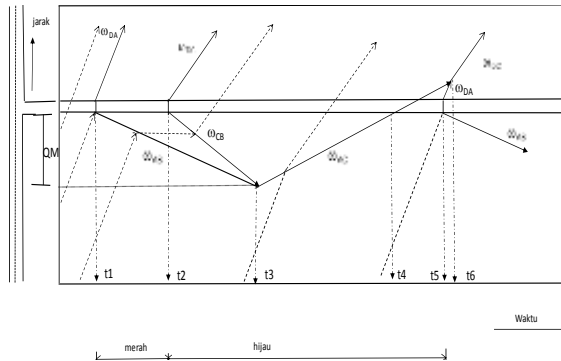
$$V_D = 0 \text{ smp/jam}, D_D = 0 \text{ smp/km}$$

Dari gambar 11. dapat dilihat selama waktu antara t_1 sampai dengan t_2 , lampu hijau menyala sehingga arus lalu lintas pada lengan persimpangan bergerak melewati persimpangan ke arah hilir dengan kondisi A (V_A, D_A , dan S_A). Pada waktu t_2 lampu lalu lintas berubah menjadi merah dan kondisi arus lalu lintas pada garis henti (*stop-line*) berubah menjadi kondisi B, sedangkan kondisi arus lalu lintas setelah persimpangan ke arah hilir pada kondisi D, tiga gelombang kejut yang terbentuk mulai t_1 pada garis henti adalah ω_{DA} , ω_{DB} , ω_{AB}



Gambar 11. Gelombang Kejut di persimpangan

Jl. Agustus – Jl. Babe Palar pada Lengan Jl. Babe Palar dari arah Rike dengan durasi efektif lampu merah (r) = 104 detik dan nilai volume (V) = 620.2996 smp/jam



$$\omega_{DA} = \omega_{DA} = \frac{V_A - V_D}{D_A - D_D} = \frac{460 - 0}{16 - DD}$$

$$= 28.724$$

Nilai positif berarti gelombang kejut gerak maju yang mengarah searah pergerakan lalu lintas. ω_{DA} merupakan gelombang kejut gerak maju yang terjadi di depan garis henti.

ω_{DB} merupakan gelombang kejut diam depan yang terjadi pada garis henti

$$\omega_{DB} = \frac{V_B - V_D}{D_B - D_D} = \frac{(0) - (0)}{(0) - (0)}$$

$$= 0 \text{ km/jam}$$

$$\omega_{AB} = \frac{V_B - V_A}{D_B - D_A} = \frac{0 - 460}{116 - 16}$$

$$= -4.5958 \text{ km/jam}$$

Tanda negatif berarti gelombang kejut bergerak mundur ke belakang berlawanan arah dengan pergerakan arus lalu lintas. ω_{AB} merupakan gelombang kejut mundur bentukan yang terjadi di belakang garis henti.

Pada saat t_2 dimana lampu berubah dari merah ke hijau, sebuah arus lalu lintas dengan kondisi baru akan terbentuk, yaitu arus lalu lintas pada kondisi C dimana arus lalu lintas pada garis henti akan meningkat dari 0 (nol) menjadi jenuh (*saturated*). Hal ini menyebabkan 2 (dua) gelombang kejut baru yaitu ω_{DC} , dan ω_{CB}

$$\omega_{DC} = \frac{V_C - V_D}{D_C - D_D} = \frac{620.2996 - 0}{42.88795 - 0}$$

$$= 14.4633 \text{ km/jam}$$

ω_{DC} merupakan gelombang kejut gerak maju yang terjadi di depan garis henti.

$$\omega_{CB} = \frac{V_B - V_C}{D_B - D_C} = \frac{0 - 620.2996}{116 - 42.88795}$$

$$= -8.4842 \text{ km/jam}$$

ω_{CB} merupakan gelombang kejut mundur pemulihan yang terjadi di garis henti. Arus lalu lintas dengan kondisi D, C, B, dan S menerus terjadi sampai dengan ω_{AB} dan ω_{CB} mencapai t_3 . Selang waktu antara t_2 sampai t_3 dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$t_3 - t_2 = r \left| \frac{\omega_{AB}}{\omega_{CB} - \omega_{AB}} \right| = 104 \left| \frac{4.59585}{8.484233 - 4.59585} \right|$$

$$= 122.922 \text{ det}$$

Panjang antrian maksimum (QM) akan terjadi pada waktu t_3 dan dapat dihitung dengan persamaan berikut dimana r adalah durasi efektif lampu merah (detik)

$$QM = \frac{t}{3600} \left| \frac{\omega_{CB} \cdot \omega_{AB}}{\omega_{CB} - \omega_{AB}} \right| = \frac{104}{3600} \left| \frac{8.484233 \cdot 4.59585}{8.484233 - 4.59585} \right|$$

$$= 0.289695 \text{ km} = 289.695 \text{ m}$$

Ketika waktu t_3 , terbentuk 1 gelombang kejut baru yaitu : gelombang kejut gerak maju (ω_{AC}), sedangkan 2 gelombang kejut gerak mundur ω_{AB} dan ω_{CB} berakhir

Gelombang kejut ω_{AC} dapat dihitung dengan persamaan :

$$\omega_{AC} = \frac{V_C - V_A}{D_C - D_A} = \frac{620.2996 - 460}{42.88795 - 16}$$

$$= 5.20314$$

Arus lalu lintas pada kondisi D, C, dan A terus terjadi sampai dengan t_5 , yaitu pada saat lampu merah menyala. Di waktu t_4 , gelombang kejut gerak maju (ω_{AC}) memotong garis henti dan arus lalu lintas pada garis henti berubah dari arus lalu lintas maksimum V_C menjadi V_A . Waktu antara mulainya lampu hijau (t_2) sampai (t_4) dapat dihitung dengan persamaan :

$$t_4 - t_2 = \frac{r \cdot \omega_{AB}}{(\omega_{CB} - \omega_{AB})} \cdot \left| \frac{\omega_{CB}}{\omega_{AC}} + 1 \right| = \frac{\left(\frac{104}{3600} \right) \cdot (-4.59585)}{((-8.48423) - (-4.59585))} \cdot \left| \frac{8.484233}{5.203142} + 1 \right|$$

$$= 12.13101 \text{ detik}$$

$t_4 - t_2 = T$ yaitu waktu penormalan, adalah total waktu antara sejak diberlakukan penormalan lajur hingga antrian berakhir.

PENUTUP

Kesimpulan:

1. Sesuai hasil analisa didapat hubungan matematis antara volume, kecepatan dan kepadatan yang ideal yaitu untuk model Greenberg pada hari Rabu diperoleh dari nilai koefisien determinasi (R^2) tertinggi yaitu sebesar 0,8989
2. Dari hasil hubungan matematis diambil hubungan hubungan matematis antara Volume dan Kepadatan dari data hari Rabu pada model Greeberg untuk menganalisa panjang antrian menggunakan nilai gelombang kejut didapat volume maksimum (V_M) adalah sebesar 620.299 smp/jam, kepadatan maksimum (D_M) sebesar 42,8879 smp/km dan diambil kondisi arus $V_A = 460$ smp/jam yang mengalami penundaan selama 104 detik didapat panjang antrian (Q_M) selama yaitu 290,266 meter dan waktu penormalan yang dibutuhkan adalah 12,161 detik lebih kecil dari durasi lampu hijau yaitu 23 detik. Artinya pada saat lampu berubah dari hijau ke merah semua kendaraan yang mengantri telah melewati garis henti. bisa dilihat pada tabel 4.10 bahwa kinerja lampu lalu lintas sampai dibandingkan dengan kondisi arus $V_A = 550$ smp/jam mengalami panjang antrian 607,0532 meter dan

memerlukan waktu penormalan selama 28,671 detik lebih besar dari durasi lampu hijau 23 detik, artinya saat lampu hijau berubah menjadi merah tidak semua kendaraan yang mengantri telah melewati garis henti, masih ada beberapa kendaraan yang tertahan. Dapat dilihat juga bahwa lama waktu penormalan sangat dipengaruhi oleh besarnya arus lalu lintas, lamanya waktu penundaan dan panjang antrian yang terjadi.

Saran

1. Perlu menambahkan durasi lampu hijau atau mengurangi durasi lampu merah sehingga semua kendaraan boleh melewati garis henti pada saat lampu hijau menyala.
2. Sebaiknya diperlukan penelitian terlebih dahulu arus lalu lintas yang akan melewati persimpangan sebelum menentukan durasi lampu lalu lintas sehingga tidak terjadi antrian yang terlalu panjang terutama pada persimpangan empat lengan . untuk lebih efektif diperlukan penelitian untuk semua lengan persimpangan sehingga lebih teliti ketika akan menentukan durasi lampu lalu lintas. Kiranya penelitian ini boleh bermanfaat dalam menentukan durasi lampu lalu lintas pada persimpangan besinyal yang lainnya di kota Manado.

DAFTAR PUSTAKA

- Direktorat Jendral Bina Marga, 1997, “*Manual Kapasitas Jalan Indonesia*”, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Hobbs, F.D 1995, “*Perencanaan dan Teknik Lalulintas*”, Gadjah Mada University press Yogyakarta.
- Tamin, Ofyar Z, Edisi ke-2, 2000, “*Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*”, Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung
- Tamin, Ofyar Z, 2003, *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi : Contoh soal dan aplikasi*, Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung.
- Rompis S. Y. R. 2012, “*Traffic Flow Model and Shockwave Analysis*”, Old Dominion University Civil And Environmental Engineering
- Rompis S. Y. R.“*Bahan Ajar Statistika*”, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Clarkson, O dan Hicks, G. R, 1999, “*Teknik Jalan Raya*”, Jilid IV Erlangga, Jakarta